

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19753

研究課題名（和文）統計的ダイバージェンスに基づくモデル評価規準の開発と規準に対する評価

研究課題名（英文）Development of model evaluation criteria based on statistical divergence and evaluation for criteria

研究代表者

倉田 澄人（Kurata, Sumito）

九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・助教

研究者番号：10847122

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：突出した能力、災害級の現象、観測機器の故障、人的なミス等々、現実のデータの中には様々な由来を持った「外れ値」が存在する。外れ値には明確な定義や線引きを与えることが難しく、また発生を防ぐことも事実上不可能である為、外れ値が混ざっていてもその影響を小さく抑えられる「頑健」な手法は、統計分析に於いて非常に重要である。本研究では、外れ値に対して頑健なモデル選択手法について研究を行った。確率分布間の遠さを測る尺度である統計的ダイバージェンスで、モデルと根底に在る「真の分布」との「遠さ」を測り、現象や行動を適切に表現出来るモデルを導き出し、選択手法の性能を理論的に評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

あらゆる分野にデータは存在し、必然的にモデルが構築できる以上、「良きモデル」を択ぶ「良き規準」の開発は文理を問わない広い分野に対し意義を持つ。本研究は、導出に於ける理論的正当性や多様な設定に対する運用可能性に加えて、頑健性を中心とした規準の「良さ」を定式化し、理論的・数値実験的な比較を行うことに力点を置いた。「規準の良さ」についての考察を行い、多様な場面・設定下で、「評価規準を評価する為の規準」を構築することにより、数多存在する規準の長短や、それらの適切な使い道を示し、幅広い設定に対応した手法を開発・評価することで、諸分野の「良い」結論の妥当性ある保証を目指した。

研究成果の概要（英文）：In real data, there frequently exist some outliers (observations that are markedly different in value from others) derived from, for example, unusual abilities, catastrophe-level phenomena, or human errors. It is difficult to provide a clear definition or threshold of such outliers, moreover, it is effectively impossible to prevent their occurrence, thus, robust methods that reduce the influence of outliers are significantly important. In this study, I investigated a model selection methods that are robust against outliers. By utilizing statistical divergence, a measure of remoteness between probability distributions, I measured the "farness" between the model and the underlying "true distribution", and derived a model that can adequately represent a phenomenon or behavior. Additionally, I theoretically evaluated the performance of the selection method.

研究分野：数理統計学、モデル選択、ロバストネス

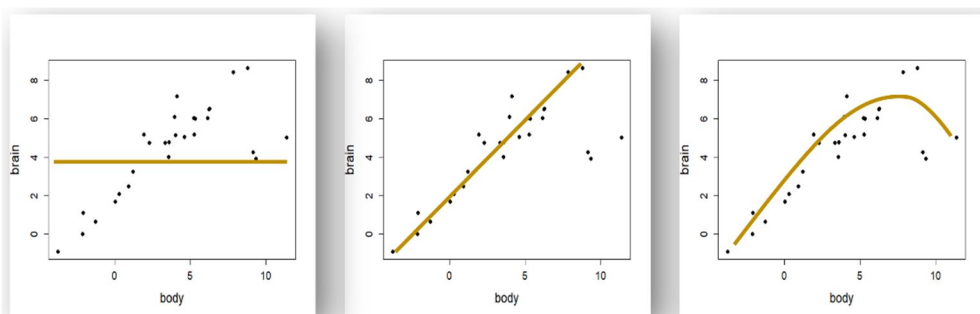
キーワード：モデル選択 統計的ダイバージェンス ロバストネス 漸近理論 バイズ統計学 スパースモデリング  
食品科学 地球科学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

現象を完璧に表現する数理的・統計的モデルを作ることは、現象の全てを知り得ない我々にとっては不可能であるゆえ、絶対的な根拠を持たないモデルの一つ作って即運用とするのは危険である。その為、我々は複数のモデルを作成し、それを何かしらの尺度で比較し、相対的に最適な一つを選出するというアプローチを採ることが多い。得られているデータに即していないモデルは現象の解明に寄与せず、一方で手元のデータに適合することにのみ注力したモデルは得てして過度に複雑化してしまい、今後得られるデータには適合せず、予測の観点等からは良いモデルとは言い難い。モデル評価規準は、多くの「良くない」モデルの中に在る、「最も良い」モデルを選出する為にあるものである。よって、適切な「良きモデル」を構築するには、適切な「良き選択指標」が不可欠となる。モデル選択に用いられる規準はAIC (Akaike 1974)やBIC (Schwarz 1978)に代表される情報量規準が有名である。なお、これらに限らず評価規準にはそれぞれ特長や弱点があり、常にどれか一つを用いていれば良いというものではない。

ところで、例えば突出した能力を持った被験者だったり、例えば個性的な回答であったり、例えば観測機器の一時的な故障であったり、或いは人的ミスであったり...等々、現実世界のデータには、様々な由来を持った「外れ値」、即ち、他の観測値から大きく離れた値を取るデータが付き纏う。外れ値には明確な数学的定義を与え難い為、これを客観的に同定する、恣意性を持たない形で排除するということは困難であり、またその発生を防ぐことは事実上不可能である。外れ値は分析時に悪影響を及ぼすことが知られており、安定した統計分析を実行するには、外れ値を適切に扱う必要がある。モデル選択に於いてもやはり、外れ値の扱いは重要な課題である。端的な例の一つ挙げる。以下は、同じデータに対して0次・1次・2次の多項式を当て嵌めた多項式回帰モデルである(データ出典: Rousseeuw and Leroy 1987)。散布図を見ると、大半のデータは一直線上に集中しているが、右下に3点、他と違う傾向を示すデータがある。ここではこれら3点を外れ値と看做す。もし右下の外れ値が無ければ、殆どの規準は1次多項式(直線の回帰モデル)を選択する。しかし、外れ値の混ざった状態で従来の規準(AICやBIC)で次数選択を行うと、外れ値に引っ張られて高次多項式を選択したり、外れ値の影響で性能を失い、明らかに全く当て嵌まっていない0次多項式を選択してしまったりする。対して、頑健な規準(Kurata and Hamada 2020 等)を用いると、外れ値の影響を適切に抑制し、外れ値の有無に拘わらず1次多項式を安定的に選択することが出来る。



モデル選択に於いては、上述した情報量規準 AIC・BIC が特に広く用いられており、また近年では LASSO、SCAD 等のスパース正則化の応用が、回帰モデルの変数選択等に対して数多くの成果を挙げている。然し乍ら BIC や LASSO 等の従来手法は、外れ値が混入している場合に本来の性能を発揮出来ない傾向が度々指摘されている。これは、従来手法が外れ値に敏感な残差平方和や尤度、KL divergence (Kullback and Leibler 1951)と呼ばれる統計的ダイバージェンス(確率分布間の「遠さ」を測る尺度)に依拠していることが原因の一つであると考えられる。頑健性のある選択法に関する研究は、国内外を問わず近年多く行われている。

## 2. 研究の目的

本研究では、統計的ダイバージェンスに基づいた選択手法の開発に焦点を当てる。統計的モデルは現象の背景に「真の確率分布」を想定するが、この確率分布に関する「遠さ・近さ」という観点から推論を行う尺度が統計的ダイバージェンスである。多くの母数推定や仮説検定、モデル選択手法は KL divergence に基づいている。最尤推定はデータに基づく経験分布に最も「近」い値によってパラメータ推定を行い、適合度検定はデータが帰無仮説の主張する分布から「遠」ければ帰無仮説を棄却する。そして、AIC や GIC (Konishi and Kitagawa 1996)等の情報量規準の多くは、現象の根底に在る真の確率分布と一番「近」いモデルを採らんとする。一方、従来の研究で、外れ値に対して頑健性を持った選択規準は既に幾つか提案されている(Mattheou *et al.* 2009, Kurata and Hamada 2018 等)。これらは KL divergence とは異なるダイバージェンスに基づくことで頑健性を為している。

猶、その「頑健性」を数理的に示したり、どのようなダイバージェンスに基づけば頑健選択が

為せるのかの比較検討をしたりという研究は、現状充分に行われているとは言い難い。本研究は、導出に於ける理論的正当性や多様な設定に対する運用可能性に加えて、頑健性を中心とした規準の「良さ」を定式化し、理論的・数値実験的な比較を行うことに力点を置く。即ち、「良きモデル」を択ぶ為の「良き選択指標」を見出す為に、モデル評価規準に対する評価を行う。頑健性を筆頭とした「規準の良さ」についての考察を行い、多様な場面、設定下で、「評価規準を評価する為の規準」を構築することにより、数多存在する規準の長短や、それらの適切な使い道を示し、その上で「対規準の規準」を満たすような、幅広い分野に対応した手法を開発することで、諸分野に於いて良きモデルがより確実に選出されることに貢献することを目指した。

加えて、本課題はモデル選択法の開発や理論的究明のみに留まらず、様々な分野への応用も重視している。問題設定に応じた様々な「モデル選択」を行うことも計画していた。具体的に実施したのは、食品科学と地球科学への応用であった(4. 研究成果にて詳述)。

### 3. 研究の方法

研究開始時に挙げた、明らかにすべき対象物としては以下の四つがあった：

- (1) 「評価規準に対する頑健性の評価規準」を用いた広範な精査
- (2) より幅広い「頑健性」の証明
- (3) 運用条件の緩和
- (4) 選択の頑健性と両立可能な性質は他にどんなものがあるか

本研究課題の前半では主に、(1)(2)に注目した。過去に Kurata and Hamada (2018, 2020)は、BHHJ divergence と呼ばれるダイバージェンス族(Basu *et al.* 1998, Ghosh and Basu 2013)に基づいたモデル評価規準を導出した。BHHJ divergence は KL divergence を一般化した族の一つで、母数推定に際して外れ値に対し零に近い重みを与えることで影響を抑制する機能を有しており、推定の頑健性について高い性能を発揮している。一方で、KL divergence を一般化したダイバージェンスには  $f$  divergence (Morimoto 1963, Csiszár 1967) や  $\alpha$  divergence (Amari and Nagaoka 2000)、 $\gamma$  divergence (Fujisawa and Eguchi 2008)、 $C$  divergence (Vonta *et al.* 2012, Maji *et al.* 2019)等、様々な尺度が今日までに定義され応用されている。特に  $\gamma$  divergence、 $C$  divergence は推定の頑健性に優れることが知られている。本研究の前半は主に、様々な存在するダイバージェンスに於いて、どれが(どういった仮定を満たすダイバージェンスが)選択の頑健性を有するのかを精査し、選択の頑健性に優れた手法の究明を目指した。

また本研究課題後半は、(3)(4)の検討に重点を置いた。手法を適用するにあたっては、幾つかの条件を満たしていることが前提となる。多種多様なデータから結論を適切に導く為には、各々の問題に即した分析法が必要であるが、そこで置かれる前提は時に、従来の統計手法が置いている仮定から逸脱してしまう。「外れ値」の存在はまさにその一つであると言えるが、それは他にもある。本課題後半で挑戦したのは、高次元データに対する応用である。情報量規準 BIC や、その頑健化を為した規準 RCC (Kurata and Hamada 2020)は、「選択の一致性」を有していることで知られる。これは標本数が増大する際に、モデル候補の中から正しい(真の確率分布に一致する)モデルを選択する確率が1へ収束するという性質であり、AIC にはなく BIC にある性質であることが示されている(Nishii 1984)ことから、データから真の構造を検出したい場面でも且つ標本数が多い場合は選択の一致性を持った規準を用いることに妥当性があると言える。然し乍ら、これはあくまで、推定対象となるパラメータの次元が(サンプルサイズと較べて)十分に小さいという前提ありきである。例えば線形重回帰分析に於いて、説明変数の候補数が観測数に迫る程(或いは、観測数を上回る程)多い場合には、選択の一致性は保証出来なくなる。本研究では、このような状況(高次元設定)に対して広く活用されるスパース正則化に対する、選択の一致性を持つつつ頑健な選択を為せるモデル評価規準の検討を行った。

### 4. 研究成果

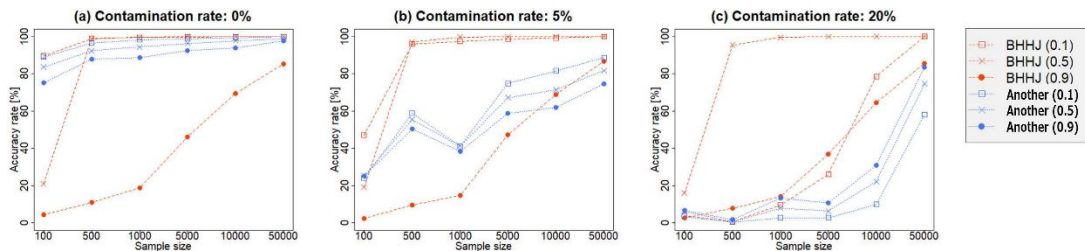
本研究課題の成果を以下の通り示す：

#### (1) ダイバージェンスに基づいた広範な評価規準族の提案

ベイズ統計学の理論を統計的ダイバージェンスに沿って拡張し、擬似尤度に基づいた擬似事後確率・擬似周辺尤度を構築することで、Divergence-Based Bayesian Criterion (DBBC)を提案した。提案規準 DBBC は、BIC 等が有する選択一致性ととも、「選択の頑健性」を併せ持てる規準となっている。本研究に於ける「選択の頑健性」は、データが真の分布とそれとは異なる(謂わば、外れ値の元なる)分布との混合分布から発生していると仮定した場合のモデル評価規準の値が、混合の無い真の分布から発生しているときの値とどの程度変わるかという「差」を評価することによって検討される。特定の外れ値・分布に対して、この「差」が際限なく増大するのだとすれば、それは規準の値が外れ値次第でどこまでも変化してしまうということであり、即ち規準が外れ値に対して不安定であることを意味する。任意の分布に対して「差」の有界性を示すことが出来れば、対応する規準は外れ値の影響を受け難いことが言える。本研究では、この「差」を近似・評価し、それを有限に留める為の条件を導出し、様々なダイバージェンスに対して検討した。実際、この「差」に相当する量を有限化するダイバージェンスに基づく選択規準は、数値実験に於いても多様な外れ値への頑健性を示している。

## (2) 頑健な選択を為すダイバージェンスの同定・選定

研究課題名にもある通り、本研究は新規規準の提案をするのみには留まらず、モデルを評価する規準に対する評価を行うことにも重点を置いている。BHHJ divergence を内包するダイバージェンスとして重要な二つの族；チューニングパラメータを用いて拡張を行った JHHB divergence family (Jones *et al.* 2001)と、凸関数を用いて拡張した C divergence family に着目した。これら二種のダイバージェンス族は、何れも母数推定や仮説検定に於いては BHHJ divergence の頑健性を継承することが示されているが、これらをモデル選択に応用した際の性質については明らかにされていない。猶、gamma divergence は前者の、f divergence と alpha divergence は後者の一部である。本項(1)で述べた選択の頑健性を比較した結果として、C divergence に属するダイバージェンスの多く (BHHJ は例外)は JHHB divergence と比較して選択の頑健性に必要となる条件がかなり厳しく複雑になることが分かり、また数値実験でもその頑健性の傾向の違いが顕著に確認された。加えて、独立異分布設定 (一般化線形モデル等に代表される、各標本が独立ではあるが同一分布に従っている訳ではない設定) 下にて、gamma divergence 等、一部尺度に基づいた規準が外れ値に敏感になりがちな傾向を数理的に示した。この研究の中で、母数推定に於ける頑健性とモデル選択に応用した際の頑健性は必ずしも同義ではないことが示された。



上の図は、数値実験の一例である。選択の頑健性に優れたことが理論的に示された BHHJ divergence と、それを満たさない別のダイバージェンスに基づいた規準 (図内: Another) の比較である。縦軸が選択精度 (100 回の実験に於いて真のモデルを選択した割合)、横軸は観測数で、凡例の括弧内はダイバージェンスに付随するチューニングパラメータの値を示している。観測数が少な過ぎる場合はどの規準も良い選択は為せていないが、適切なパラメータを与えた BHHJ divergence に依拠した規準 (図内: x 印の破線) は、ある程度の観測数がある場合、外れ値の有無に依らず安定して高い精度を示していることが分かる。項目(1)(2)に関連する研究成果は学会発表済・査読付き論文採択済である (Kurata 2024)。

## (3) 高次元回帰モデルに対するダイバージェンスに基づいたモデル評価規準の提案

高次元データ分析にて頑健な選択を為すことを目指し、近年非常に幅広く活躍しているスパースモデリングの代表格・LASSO (Tibshirani 1996) に関するモデル選択を検討した。LASSO は回帰係数の推定と説明変数 (要因) の選択を同時に実行する手法として知られており、その選択精度の改良や拡張に関しても数多くの研究が存在するが、LASSO に付随する正則化パラメータと呼ばれる、結論を大きく左右する値を決定する方法には様々な議論がある。LASSO の改良形の一つである adaptive LASSO (Zou 2006) は、幾つかの条件の下で、「選択の一致性」に類似した性質・「オラクル性」を有することで知られる。大まかには、大標本時に不要な変数の回帰係数を 0 に縮小して必要な変数のみを選出出来るという性質であるが、これを確立する為には正則化パラメータの範囲 (漸近オーダー) に条件を課す必要がある。オラクル性が提供するものは正則化パラメータの漸近オーダーまでであり、唯一の最適値は示せない為、この選択には結局、何かしらの規準を用いる必要がある。現状では AIC や BIC 等が多く用いられているが、これらの規準は頑健性を弱点とする。また、選択の一致性という観点に於いても、高次元 (説明変数の候補数が多い場合) 設定では BIC の一致性を保証することが出来ない。そこで、高次元設定を考慮した情報量規準である EBIC (Chen and Chen 2008, 2012) や GBIC (Konishi *et al.* 2004, Hirose and Konishi 2012) をダイバージェンスに基づいて拡張し、更にオラクル性等のスパース正則化に於ける良い性質との並立を達成する為の正則化項を導出した。本項目研究成果は学会発表済であり、論文投稿を控えている。

## (4) モデル選択の応用研究

本研究課題では、統計手法を異分野へ応用する研究も継続的に実施し、複数の発表・論文投稿を行った。具体的には、人間が口腔内で味の持続・変化を感じる過程を時系列モデルと一般化線形モデルで表現しモデル (要因) 選択を行う研究、並びに独自のスパースモデリングによる地震波速度トモグラフィ法の改良を実施した。以下にそれぞれの概要を簡潔に示す。

### 食品科学 ~ TDS データ分析

TDS とは Temporal Dominance of Sensation の略で、TDS データは、人間が食品を味わう過程を分析する為のデータである。データは試料 (食品や飲料) を口に入れてから一定時間が経過するまでの、評価者が口腔内で感じた「最も支配的な味や食感 (attribute)」の時系列として得られる。本分析に於いて、近年統計分析が導入されてきた。Lecuelle *et al.* (2018) 等

は、セミマルコフ連鎖を用いて、支配的な味・食感の変化過程と、各味・食感の持続時間の従う確率分布について議論された。先行研究では、すべての attribute が同一の分布を持つことを前提としており、性別や年齢、食べ物の好み等の人的な特性は考慮されていなかった。そこで本研究では、従来の TDS データ分析の流れ、近年応用されつつあるマルコフモデルの利点を継承しつつ、より個人の感じ方の違いや曖昧な感覚という現象を明瞭に反映出来る様な新規モデルを導入し、食品の持つ官能特性を理解出来る様に出力することを目的とした。また、個々人の差のみならず、状態(「甘味」「渋味」等の官能特性)毎の持続時間に関する違いという特徴や、特性の選択肢を超えた、より抽象的で潜在的な「感覚」を表現する為に、背後に在る特性を考慮したモデルの導入を行った。本研究で提案した手法は、上述のセミマルコフ連鎖と、一般化線形モデルの一つである負二項回帰をベースに、人的特性や味・食感の違いを反映させた。情報量規準を用いて特徴に応じてパラメータを適切に分割するモデルを選択することで、味の持続時間と個人や味・食感の特性との対応関係を得ることが出来る。本研究成果は学会発表済・査読付き論文採択済である(Kurata, Kuroda, and Komaki 2021)。

#### 地球科学 ~ 地震波速度トモグラフィ

震源で生じた地震波は、地球内部を伝わって人々の住む地表に到達するが、地下を伝播する地震波の速度は場所によって異なり、特に深さに大きく依存すると考えられている。地震波速度トモグラフィは、地震波が震源から観測点に至るまでの時間を観測データとして、地下の速度構造を推定する手法である。本手法で重要な問題となっているものの一つに、不連続面と呼ばれる、伝播速度がその付近で急峻に変化する領域があり、残差平方和等に基づいた従来法では急激な変化を捉えきれないという課題があった。本研究では、スパース正則化を応用し、不連続面を含む地下構造の高精度な推定を検討した。本項目で扱う地震波速度トモグラフィ法では3次元グリッドポイントを用いたモデルを採用している。本研究では、地球科学的見地を罰則項に反映すべく、深さ方向と水平方向に対してそれぞれ別の罰則を与えた正則化法を提案した。水平方向には、隣接したグリッド点の一階差分に対して L2-norm に基づくペナルティを与え、滑らかな速度変化を表現することを試みた。一方、深さ方向の罰則項としては、深さの「層」で見た平均速度の二階差分に対して、L2-norm の L1 和という形の項を与えた。この罰則項が「選択」しているのは、グリッド点で構成された速度構造モデルに対し、「急激な変化がどこで起きているか」である。二階差分の一部が0に縮小されることにより、推定される平均速度が区分線形的になり、ゆえに構造変化が生じる深さを検出出来る。提案手法の性能は比較シミュレーション並びに、日本中部地方にて実際に発生した地震と観測点の直達 P 波読み取りデータに基づいた実データ分析で検証した。結果として、提案手法はかなり少ないデータ数からでも構造変化の検出に成功したと結論出来た。本研究成果は学会発表済・査読付き論文採択済である(Yamanaka, Kurata, *et al.* 2022)。

猶、これらの応用研究に於いては、KL divergence 並びに残差ベースの正則化・選択が中心となり、ダイバージェンスに沿った頑健化までには至らなかった。食品科学・地球科学に限らず、どの分野にもそれぞれの外れ値は存在し得るものであり、より安定的な選択・分析を達成する為には頑健化は重要である。これらは本研究課題終了後の課題となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kurata Sumito	4. 巻 53
2. 論文標題 On robustness of model selection criteria based on divergence measures: Generalizations of BHHJ divergence-based method and comparison	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Communications in Statistics - Theory and Methods	6. 最初と最後の頁 3499-3516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/03610926.2022.2155788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kurata Sumito, Kuroda Reiko, Komaki Fumiyasu	4. 巻 59
2. 論文標題 Statistical modeling for temporal dominance of sensations data incorporating individual characteristics of panelists: an application to data of milk chocolate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food Science and Technology	6. 最初と最後の頁 2420-2428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13197-021-05260-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamanaka Yohta, Kurata Sumito, Yano Keisuke, Komaki Fumiyasu, Shiina Takahiro, Kato Aitaro	4. 巻 74
2. 論文標題 Structured regularization based velocity structure estimation in local earthquake tomography for the adaptation to velocity discontinuities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01600-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 倉田澄人, 山中遥太, 矢野恵佑, 駒木文保, 椎名高裕, 加藤愛太郎
2. 発表標題 構造正則化を用いた地震波速度トモグラフィの性能検証
3. 学会等名 JpGU2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田澄人, 山中遥太, 矢野恵佑, 駒木文保, 椎名高裕, 加藤愛太郎
2. 発表標題 正則化による地震波速度推定精度の改善と構造変化の検出について
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田澄人
2. 発表標題 外れ値に対して頑健なモデル評価規準の発展可能性: 並立可能な統計学的性質について
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田澄人
2. 発表標題 統計的ダイバージェンスと外れ値に対し頑健なモデル選択規準について
3. 学会等名 統計科学セミナー(九州大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田澄人
2. 発表標題 マルコフ連鎖と一般化線形モデルによるTDSデータの分析について
3. 学会等名 日本官能評価学会企業部会第105回定例会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉田澄人、山中遥太、矢野恵佑、駒木文保、椎名高裕、加藤愛太郎
2. 発表標題 速度不連続面を考慮した地震波速度トモグラフィに対する構造正則化の応用
3. 学会等名 JpGU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉田澄人、山中遥太、矢野恵佑、駒木文保、椎名高裕、加藤愛太郎
2. 発表標題 地震波速度不連続面の検出のためのスパース正則化に基づく地震波トモグラフィ
3. 学会等名 統計関連学会連合大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉田澄人
2. 発表標題 頑健性を持つダイバージェンスの拡張とモデル評価規準
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉田澄人、山中遥太、矢野恵佑、駒木文保、椎名高裕、加藤愛太郎
2. 発表標題 構造正則化を応用した地震波トモグラフィ法による速度不連続面の検出
3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Sumito Kurata, Keisuke Yano, Fumiyasu Komaki
2. 発表標題 A hidden Markov model for overlapping of seismic waves
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sumito Kurata, Naoya Takakura, Keisuke Yano, Fumiyasu Komaki
2. 発表標題 A Bayesian seismic tomography adapted to discontinuities
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中遥太、倉田澄人、矢野恵佑、駒木文保、椎名高裕、加藤愛太郎
2. 発表標題 構造正則化に基づく地震波トモグラフィ
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉田澄人
2. 発表標題 ダイバージェンスに基づくBIC型評価規準族について
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉田澄人、黒田玲子、駒木文保
2. 発表標題 評価者特性を反映した経時的優位感覚データの解析
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sumito Kurata, Reiko Kuroda, Fumiyasu Komaki
2. 発表標題 On statistical methods for TDS data analysis: Consideration about characteristics of each panelist and each taste
3. 学会等名 Sensometrics 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉田澄人、廣瀬慧
2. 発表標題 スパース正則化における頑健なモデル選択規準について
3. 学会等名 国際数理科学協会「統計的推測と統計ファイナンス」分科会研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉田澄人、廣瀬慧
2. 発表標題 統計的ダイバージェンスを応用した高次元線形回帰モデルに対する正則化パラメータの頑健な選択について
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------